Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir/

Research Article
Vol. 14, No. 3, Fall 2022, p. 449-466

Evaluation of the Efficiency of Animal Manures in the Production of Thyme (*Thymus daenensis* L.)

A. Ghanbari Odivi[1], S. Fallah[2*], Z. Lorigooini[3] and M. Karimi[4]

Received: 15-02-2021
Revised: 03-05-2021
Accepted: 11-05-2021
Available Online: 13-12-2022

How to cite this article:
Ghanbari Odivi, A., Fallah, S., Lorigooini, Z., and Karimi, M., 2022. Evaluation of the efficiency of animal manures in the production of thyme (*Thymus daenensis* L.). Journal of Agroecology 14(3): 449-466.
DOI: 10.22067/agry.2021.68631.1019

Introduction

The sustainability of production in agricultural lands is directly related to soil fertility management. In this regard, the application of livestock manure is a very important method for improving soil fertility without adversely affecting the environment. Although the efficiency of these manures could be sustained for several growing seasons, however, their efficiency in the first year is principally more important due to the direct relationship with the production of that year. Therefore, the present study was conducted to evaluate the effect of the source and amount of manure on the growth and production of thyme.

Materials and methods

The experiment was performed as a split-plot design in time and in the form of a randomized complete block with three replications at the model cultivation site of medicinal plants of Koohrang Agriculture-Jahad in 2018 and 2019. Experimental treatments included three levels of poultry manure (100, 143, and 250 kg N/ ha; PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}), three levels of sheep manure (100, 143, and 250 kg N/ ha; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250})), three levels of cattle manure (100, 143 and 250 kg N/ ha; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}) and chemical fertilizer (CF) and no fertilizer application (C) as positive and negative controls, respectively, which in two cutting were compared. The measured traits included photosynthetic pigments, leaf area index, aerial biomass, essential oil content, and essential oil yield. Data were analyzed by SAS software, and means were compared by LSD test.

Results and Discussion

In both cuttings, the amount of chlorophyll *a* in plots that received a medium and high level of animal manure were similar to the plot that received chemical fertilizer. Except for CM_{250} treatment, chlorophyll *b* in all manure treatments was similar to CF treatment. In the first cutting, the leaf area index in PM_{250}, SM_{143}, and SM_{250} treatments had a significant advantage compared to CF treatment, but in the second cutting, manure treatments (except SM_{100}) did not show a significant difference compared to CF treatment. Thyme biomass obtained from PM_{250}, SM_{143}, and SM_{250} treatments had a significant advantage compared to CF treatment in the first cutting, but in the second cutting, there was no significant difference among manures and CF treatments. In the first cut, the essential oil content of medium and high levels of poultry manure and also high levels of sheep and cattle manure were significantly higher than the CF treatment. However, in the second cutting, the amount of essential oil under all levels of poultry manure and medium and high levels of sheep and cattle manure were higher than the CF treatment. In the first cutting, the essential oil yield of medium and high levels of poultry and sheep manure and high levels of cattle manure was higher

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
2- Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
3- Associate Professor, Medicinal Plants Research Center, Basic Health Sciences Institute, Shahrekord University of Medical Sciences, Shahrekord, Iran
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Iran.
* Corresponding author: falah1357@yahoo.com

than that of the CF treatment, but in the second cutting, only high levels of poultry manure had a significant advantage in comparison with CF treatment. The fertilizer application efficiency regarding biomass production was similar for all fertilizer treatments except SM_{143}. The highest fertilizer use efficiency in the production of essential oil was obtained with SM_{143} and PM_{143}, respectively.

Conclusion

Applying a medium amount of sheep manure could be more effective in the crop ecosystem due to its superior efficiency in comparison with other levels of this fertilizer and other studied animal manure and chemical fertilizers. However, if the essential oil yield of the thyme is the gold of the farmer, the high level of poultry manure has priority over the balanced level of sheep manure, although the efficiency of this level of poultry manure is 35% lower than the balanced level of sheep manure. Therefore, in addition to producing essential oils, the efficiency of fertilizers could also be considered an important factor in achieving sustainable aspects in medicinal plant's ecosystems.

Keywords: Thyme, Organic manure, Fertilizer efficiency, Essential oil, Aerial biomass

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir/

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارآیی کودهای دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.)

عسکر قنبری عدیوی[1]، سینا فلاح*[2]، زهرا لری گوئینی[3] و مجتبی کریمی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

قنبری عدیوی، ع.، فلاح، س.، لری گوئینی، ز.، و کریمی، م.، ۱۴۰۱. ارزیابی کارآیی کودهای دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۴(۳): ۴۶۶-۴۴۹.

چکیده

اگرچه کارایی کودهای دامی چندین فصل زراعی تداوم دارد، ولی کارایی سال اول اهمیت بیشتری دارد. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی کارایی منبع و مقدار کود دامی در تولید گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) به صورت اسپیلت پلات در زمان در قالب بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح کود مرغی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار ؛ PM_{100}، PM_{143}، PM_{250})، سطوح کود گوسفندی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250})، سطوح کود گاوی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}) و کود شیمیایی (CF) و عدم مصرف کود (C) بودند که در دو چین مقایسه شدند. زیست‌توده گیاهی PM_{250}، SM_{143} و SM_{250} در چین اول برتری معنی‌داری در مقایسه با CF داشت، ولی در چین دوم اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای کود دامی و شیمیایی مشاهده نشد. در چین اول عملکرد اسانس سطوح متوسط و بالای کودهای مرغی و گوسفندی و سطح بالای کود گاوی بیشتر از CF بود، ولی در چین دوم فقط سطح بالای کود مرغی برتری معنی‌داری در مقایسه با CF داشت. کارایی مصرف کود در تولید زیست‌توده همه تیمارهای کودی به‌استثنای SM_{143} مشابه بود، ولی برای تولید اسانس SM_{143} و PM_{143} به‌ترتیب دارای بیشترین کارایی بودند. به‌کارگیری مقدار متوسط کود گوسفندی به‌دلیل برتری کارایی آن در مقایسه دیگر تیمارهای کودی اثربخشی بیشتری در اکوسیستم زراعی دارد، ولی چنانچه هدف تولید اسانس باشد، سطح بالای کود مرغی بر سطح متوسط کود گوسفندی اولویت دارد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، زیست‌توده گیاهی، کارایی مصرف کود، کود آلی

مقدمه

خانواده Lamiaceae متنوع ترین و گسترده‌ترین خانواده گیاهی در زمینه مطالعات دارویی است و اهمیت دارویی آن‌ها به‌دلیل اسانس موجود در آن‌ها است (Sharafzadeh & Zare, 2011). تیموس را می‌توان عضوی از این خانواده دانست که در ایران و سایر نقاط جهان از اهمیت زیادی برخوردار است و به‌دلیل عملکرد اسانس بالا و

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
۲- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
۳- دانشیار پژوهشکده علوم پایه سلامت، مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، شهرکرد، ایران.
۴- استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: falah1357@yahoo.com)

DOI: 10.22067/agry.2021.68631.1019

ترکیبات فنلی با ارزش، به‌ویژه تیمول و کارواکرول بسیار قابل توجه است (Safaei-Ghomi et al., 2009 Nezhadali et al., 2010;). اسانس این گیاه چندساله و بومی اروپا و حوزه مدیترانه از اسانس‌های معروف دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی شناخته شده است. (Asbaghian et al., 2011; Budka & Khan, 2010)

آویشن حاوی روغن ضروری بیشتری نسبت به گونه‌های دیگر است که این خصوصیت باعث شده که معمولاً در نوع دوز دارویی استفاده شود (Nabavi et al., 2015; Verpoorte, 2000). *Thymus daenensis* به‌طور انحصاری در غرب و جنوب غرب ایران (Abdollahi & Feizian, 2019)، و در کوه‌های زاگرس (Ghasemi Pirbalouti et al., 2011) رشد می‌کند (Shahnazi et al., 2007). روغن‌های اساسی گیاه آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) دارای اثرات قوی دارویی و ضدعفونی‌کننده هستند (Ghasemi Pirbalouti et al., 2013). به هر حال، اهداف دارویی جنس تیموس آن را به یکی از محبوب ترین داروها در طب سنتی در سرا سر جهان تبدیل کرده است (Abdollahi et al., 2020).

گزارش شده است که اسانس آویشن یکی از ۱۰ اسانس اصلی در بین گیاهان دارویی است (Maghdi & Maki, 2003)، همچنین عمدتاً به‌عنوان افزودنی غذایی و آرایشی (Abdollahi & Feizian, 2019; Sacchetti et al., 2005) کاربرد دارد. دیگر کاربرد های آویشن در پزشکی (Maghdi & Maki, 2003) به‌عنوان فعالیت ضدمیکروبی (باکتری‌ها و قارچ‌ها) (Cetin et al., 2011)، خلط‌آور (Büechi et al., 2005)، فعالیت‌های ضد اسپاسم (Begrow et al., 2010) خاصیت آنتی‌اکسیدانی (Haraguchi et al., 1996) ضدعفونی‌کننده، تسکین‌دهنده (Yarnell, 2007)، که بیشتر آن‌ها توسط تیمول و کارواکرول انجام می شوند، به دفعات گزارش شده است.

تغذیه گیاه مهم‌ترین عامل در تولید گیاه است. هماهنگی تلقیح کودهای ماکرو و میکرو در تغذیه گیاه برای عملکرد بالا ضروری است (Sawan et al., 2001). تأمین نیازهای غذایی گیاهان دارویی برای تولید اقتصادی پایدار مهم است. نیتروژن، فسفر و پتاسیم عناصر مغذی اصلی هستند که تقریباً بر تمام جنبه‌های رشد و عملکرد گیاه تأثیر می گذارند. نیتروژن یکی از مهم‌ترین مواد مغذی محدودکننده عملکرد در تولید محصولات است. این ماده در اسیدهای آمینه، آنزیم‌ها، پروتئین‌ها، کلروفیل و دیواره سلول نقش دارد. (Wiedenhoeft, 2006).

همچنین کودهای شیمیایی، منابع غیرشیمیایی مانند کودهای زیستی و کود دامی ممکن است با تأمین مواد مغذی به گیاه تأثیرات مثبتی بر رشد و عملکرد گیاه داشته باشند. کود حیوانی علاوه‌بر آزادسازی عناصر پرمصرف و ریزمغذی، با تأثیر بر طیف وسیعی از ویژگی‌های بیولوژیکی و فیزیکی- شیمیایی خاک مانند محتوای ماده آلی، pH و ظرفیت نگهداری آب، رشد و عملکرد گیاه را افزایش می‌دهد (Schoenau, 2006). تبریزی و همکاران (Tabrizi et al., 2011) گزارش دادند که استفاده از کود دامی به‌طور قابل توجهی بر زیست‌توده آویشن تأثیر می‌گذارد.

فعالیت میکروبی خاک نقش مهمی در چرخه مواد مغذی خاک ایفا می‌کند که تحت تأثیر رژیم‌های مختلف کود قرار دارد و از نزدیک با رشد محصول، حاصلخیزی خاک و پایداری بهره‌وری خاک رابطه دارد (Börjesson et al., 2012). استفاده از کودهای دامی راهکار مؤثری در جهت افزایش عملکرد محصول و نیل به کشاورزی پایدار است (Fallah, 2016).

حاصلخیزی خاک تحت تأثیر مدیریت‌های مختلف کشاورزی مانند انواع محصولات، خاکورزی خاک، رژیم های کودی، الگوی آبیاری و... است، ولی عمدتاً روش‌های مختلف مدیریت کود سبب تغییر فعالیت‌های میکروبی خاک می‌شوند (Geisseler & Scow, 2014). حفظ پیچیدگی و تنوع میکروبی خاک برای حفظ حاصلخیزی خاک بسیار مهم است، زیرا میکروب‌های خاک نقش مهمی در واسطه‌سازی چرخه‌های کربن و نیتروژن دارند و همچنین به‌عنوان مخزن مهم مواد مغذی گیاهان عمل می‌کنند (Trivedi et al., 2017).

جوامع میکروبی خاک از نظر ساختار و همچنین عملکرد تنوع بسیار زیادی دارند که از مکانی به مکان دیگر و همچنین با گذشت زمان متفاوت است. در سال‌های اخیر، اثرات رژیم‌های مختلف کود بر روی ویژگی‌های میکروبی خاک توسط بیشتر محققان انجام شده است. تیمارهای کود از طریق تأثیر مستقیم بر ویژگی‌های فیزیکی خاک و محتوای عناصر غذایی بر جوامع میکروبی خاک تأثیر می‌گذارند (Zhong et al., 2010). شیوه‌های کشاورزی آلی به‌طور کلی، بر روی ویژگی‌های مختلف خاک تأثیرات مثبتی دارند (Hartmann et al., 2015)، باعث افزایش ساختار خاک با افزایش محتوای مواد آلی خاک و در نتیجه، حفظ حاصلخیزی خاک می‌شود

(Francioli et al., 2016). بنابراین، با آگاهی از تأثیر روش های مدیریت کود راهی برای مطالعه فرآیندهای بیولوژیکی خاک فراهم می شود. در مطالعات مختلفی مشخص شد که عملکرد کود مهم‌ترین عامل تأثیر در ساختار جامعه و تنوع میکروب‌های خاک است، با استفاده از روش‌های مدیریت ورودی ارگانیک، تنوع و پایداری جامعه میکروب‌های خاک افزایش می‌یابد (Wang et al., 2017). برخی از نتایج همچنین نشان داد که مدیریت کودهای آلی اثرات مثبتی بر محتوای ماده آلی خاک، ساختار و تنوع جامعه میکروبی خاک و فراوانی باکتری‌ها و قارچ‌های خاک دارد (Treonis et al., 2010; Forge et al., 2008). آن و همکاران (Ahn et al., 2016) نشان دادند که فراوانی، فعالیت و تنوع ریزجانداران خاک با بازگشت کود آلی و بقایای محصول به خاک افزایش یافته است. در مقابل، برخی از مطالعات نشان داد که استفاده از روش‌های مدیریت کود شیمیایی باعث افزایش جامعه و فعالیت میکروبی خاک می‌شود (Zhu et al., 2018). با این حال، هنوز اطلاعات محدودی در مورد تغییر ساختار جامعه میکروبی خاک و تنوع تحت شرایط مختلف عملکرد طولانی‌مدت مدیریت کود وجود دارد (Tang et al., 2020).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، سطح مواد آلی خاک اغلب بسیار کم است. بنابراین، حفظ و بهبود مواد آلی خاک برای حفظ سلامت خاک و پایداری کشاورزی در این مناطق بسیار مهم است. علاوه‌براین، تولید موفقیت‌آمیز محصولات نیاز به جایگزینی مواد مغذی کافی دارد (Samani et al., 2017).

به‌طور کلی، پذیرفته شده است که استفاده مداوم و بیش از حد کودهای شیمیایی ممکن است تأثیرات منفی بر سلامت خاک و محیط زیست داشته باشد و باعث مشکلات زیست‌محیطی از جمله خاک، تخریب فیزیکی و عدم تعادل مواد مغذی شود (Yadav, 2003).

بنابراین، کودهای آلی در مقایسه با کودهای صنعتی به‌عنوان منابع جایگزین پایدار عناصر غذایی در نظر گرفته می‌شوند. برخی مطالعات نشان می‌دهند که کود طیور از جمله اصلاح‌کننده‌های آلی خاک مناسب برای تولید محصولات هستند (KeshavarzAfshar et al., 2014).

با این حال، به‌عنوان یک نتیجه از افزایش مداوم تقاضا برای حفاظت از محیط زیست و تولید مواد غذایی سالم، افزایش استفاده از کودهای طبیعی و آلی سازگار با محیط زیست ضروری است. کودهای آلی می‌توانند به‌عنوان جایگزینی برای کود های معدنی برای بهبود ساختار خاک عمل کنند (Sharafzadeh & Ordookhani, 2011). افزودن کودهای آلی به خاک‌های کشاورزی با بهبود ویژگی های فیزیکی و بیولوژیکی خاک، اثرات مفیدی در توسعه محصول و عملکرد دارد (Zheljazkov & Warman, 2004). مناسب بودن و مفید بودن کود آلی به‌دلیل قابلیت دسترسی زیاد محتوای نیتروژن، فسفر و پتاسیم نسبت داده شده است (Kilande et al., 2011). در همین رابطه گزارش گردیده که کود دامی می‌تواند تمام و یا بخش اعظم نیتروژن مورد نیاز گیاه و همچنین فسفر، پتاسیم و عناصر ریزمغذی را تأمین نماید و علاوه‌بر تأمین نیاز تغذیه‌ای گیاه منجر به بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شود (Fallah et al., 2013; Rahimpour & Fallah, 2018). کود های آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی محتوای مواد مغذی کمتری دارند و رهاسازی کند دارند، امّا به اندازه کودهای شیمیایی در مدت زمان طولانی استفاده مؤثر هستند (Naguib, 2011). عمران (Amran, 2013) گزارش کرد که کودهای آلی پارامترهای رشد رویشی و بهره‌وری روغن ضروری گیاهان را افزایش می‌دهند. همچنین، چندین محقق نشان دادند که کود آلی رشد رویشی و تولید زیست‌توده را به‌طور مؤثر افزایش می دهد (Roy & Hore, 2010; Dinesh, 2010).

با این حال، یافته‌های اخیر نشان داد که برخی از ویژگی‌های گیاهان دارویی می‌تواند تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و اکولوژیکی قرار گیرد، از جمله این عوامل، کود دامی و مقدار نیتروژن موجود در آن می‌باشد. لذا به‌منظور مطالعه اثر کودهای دامی و کود شیمیایی بر رشد،عملکرد و اسانس گیاه دارویی آویشن دنایی (*Thymus daenensis* L.) این مطالعه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی کارایی مصرف کودهای دامی (گاوی، گوسفندی و مرغی) در گیاه دارویی آویشن آزمایشی مزرعه‌ای طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ در سایت الگویی گیاهان دارویی جهاد کشاورزی شهرستان کوهرنگ (طول و عرض جغرافیایی۳۲ درجه و ۲۹ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۲۲۳۴ متر اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح کود مرغی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کل؛ PM_{100}، PM_{143}، PM_{250})، سه سطح کود گوسفندی (۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کل؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250})، سه سطح کود گاوی (۱۰۰، ۱۴۳ و

۲۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن کل؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}) و همچنین تیمار کود شیمیایی (CF) و عدم مصرف کود (C) به‌ترتیب به‌عنوان شاهد مثبت و منفی بودند که در دو چین مورد مقایسه قرار گرفتند. ویژگی‌های شیمیایی کودهای آلی مورد استفاده در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی کودهای دامی مورد استفاده.
Table 1- Chemical properties of livestock manures used.

پارامتر Parameter	واحد Unit	کود مرغی Poultry manure	کود گوسفندی Sheep manure	کود گاوی Cattle manure
pH	-	6.71	7.92	7.9
EC	$dS.m^{-1}$	4.75	4.38	1.98
OC	%	31.2	17.5	19.5
N	%	4.5	2.64	2.32
P	%	1.71	0.59	0.56
K	%	0.98	1.25	0.62
Fe	$mg.kg^{-1}$	1475	3812	1718
Zn	$mg.kg^{-1}$	425	120	206
Cu	$mg.kg^{-1}$	117	28.12	51.72
Mn	$mg.kg^{-1}$	493	331	220

آزمایش به‌صورت طرح اسپیلت پلات در واحد زمان و در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. هر کرت شامل شش خط کاشت به‌طول سه متر بود. سطوح کودی این تحقیق پس از تعیین میزان کود نیتروژن آن‌ها مشخص گردید. به‌طوری‌که ابتدا نمونه هر یک از کودهای دامی مورد استفاده آنالیز شد و سپس براساس میزان نیتروژن موجود در کود دامی و کارایی تبدیل آن مقادیر کود دامی جهت هر کرت آزمایشی انجام شد. در تیمار کود شیمیایی براساس ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل استفاده گردید. به‌دلیل بالا بودن پتاسیم موجود در خاک (جدول ۲) از کود پتاسیمی نیز استفاده نشد.

جدول ۲- ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش
Table 2- Soil properties of experimental field

بافت Textre	pH	EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	فسفر قابل دسترس Availabe Ps ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل دسترس Available K ($mg.kg^{-1}$)
رسی Clay	7.75	0.76	0.76	0.08	8	320

برای کاشت ابتدا نشای گیاهان مورد نظر تهیه شد و سپس در اردیبهشت‌ماه در کرت‌های آزمایشی کاشته شد. آبیاری گیاهان به‌وسیله تیپ و وجین علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

صفات اندازه‌گیری شده عبارت بودند از: رنگدانه‌های فتوسنتزی، وزن خشک برگ، شاخص‌سطح برگ میزان اسانس و عملکرد اسانس.

اندازه‌گیری مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی شامل کلروفیل‌a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئید با استفاده از روش لیچنتالر (Lichtenthaler, 1987) انجام شد. برای این منظور ۰/۲ گرم از برگ‌های فریز شده انتهای گیاه با ۱۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شده و پس از صاف کردن جذب آن‌ها با اسپکتروفتومتر مدل AE-UV-۱۶۰۶ در طول موج های ۶۴۶/۸، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر خوانده شد و غلظت رنگیزه‌ها بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر محاسبه گردید.

$$Chl_a\ (\mu g.ml^{-1}) = 12.25\ A_{663.2} - 2.79\ A_{646.8}$$ معادله (۱)

$$Chl_b(\mu g.ml^{-1}) = 21.21\ A_{646.8} - 5.1\ A_{663.2}$$ معادله (۲)

$$Total\ Chl\ (\mu g.m^{-1}l) = 7.15\ A_{663.2} + 18.71\ A_{646.8}$$ معادله (۳)

$$Carotenoid\ (\mu g.ml^{-1}) = (1000(A470) - 1.8(Chla) - 85.02(Chlb))/198$$ معادله (۴)

شـاخص سـطح برگ (LAI)[1] توسـط نرم‌افزار دی‌جی‌مایزر و از نسبت سطح برگ (LA)[2] به سطح اشغال زمین (GS)[3] محاسبه شد (Nathalie & Bréda, 2003):

معادله (۵) LAI= (LA / GS)

جهت اندازه‌گیری میزان اســانس (به‌روش وزنی حجمی)، ۱۰۰ گرم از سرشاخه‌های گلدار گیاه در زمان گل‌دهی، پس از خشک شدن کامل در سایه، آسیاب شده، جهت استخراج اسانس توسط دستگاه کلونجر و با روش تقطیر با آب به‌مدت دو ساعت در یک مرحله مورد استفاده قرار خواهد گرفت (Fallah et al., 2020).

عملکرد اسانس از حاصل ضرب محتوای اسانس گیاهان در وزن خشک مربوطه محاسبه شد (Fallah et al., 2020). همچنین جهت محاسبه کارایی مصرف کود از روابط زیر استفاده شد (Neisani et al., 2011):

معادله (۶)

کارایی مصرف کود در تولید ماده خشک ($kg.kg^{-1}$) = (ماده خشک تیمار شاهد – ماده خشک تیمار حاوی کود) / نیتروژن مصرفی

معادله (۷)

کارایی مصرف کود در تولید اسانس ($kg{\cdot}kg^{-1}$) = (اسانس تیمار شاهد – اسانس تیمار حاوی کود) / نیتروژن مصرفی

آنالیز واریانس داده‌های مســتخرج شــده در این آزمایش توســط نرم‌افزار SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه آنالیز واریانس نشــان داد که میزان کلروفیل a تحت تأثیر اثر اصلی و متقابل کود و چین در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می شود، در چین اول با افزایش میزان کود مصرفی به‌استثنای کود مرغی که با افزایش میزان کود کلروفیل a افزایش یافت، در ســایر تیمارها روند افزایش معنی‌داری مشاهده نگردید، ولی در چین دوم روند افزایش کلروفیل a با سـطح کود مصـرفی هم‌راسـتا بود، با این تفاوت که شـیب افزایش کلروفیل a برای کود مرغی و گوسفندی مشابه و بالاتر از کود گاوی بود. میزان کلروفیل کرت‌های تغذیه شــده با کود شـیمیایی در هر دو چین همانند سطوح بالای کود دامی مصرفی بود.

در مطالعه‌ای بر روی جذب مواد مغذی توســط گیاهان زراعی و ارتباط آن با محتوای کلروفیل به‌وضــوح نشــان داده شــد که میزان کلروفیل به‌میزان مواد مغذی جذب شده توسط گیاه از خاک مربوط می‌شود. همچنین مشاهده کردند که مصرف کود آلی منجر به محتوای کلروفیل برگ بالاتر از کود معدنی شــد (Roy & Singh, 2006). ویدنهوفت (Wiedenhoeft, 2006) اظهار داشت که استفاده از کود مرغی همیشه بهترین پاسخ را در سال اول دارد. زیرا این کود نسبتاً سریع تجزیه می شود و در مقایسه کودهای دیگر با مواد برابر، سطح مواد مغذی کافی دارد. محتوای زیاد کلروفیل برگ باعث جذب و تبدیل انرژی نور و بالطبع ســبب افزایش ظرفیت فتوســنتزی گیاه می شود (Ye et al., 2020). در مطالعه حاضر، تفاوت زیادی بین نوع کود مصرفی برای کلروفیل a گیاه آویشن وجود نداشت. احتمالاً نیاز کمتر نیتروژن برای سنتز کلروفیل است به عبارتی، کودهای مصرفی با رهاســازی نیتروژن نیتراتی نیاز اولیه گیاه را تأمین نمودند، ولی در ادامه برای چین دوم نیازمند معدنی شــدن نیتروژن آلی هســتند و به همین دلیل با افزایش ســطوح کود مصــرفی میزان کلروفیل a نیز افزایش یافته اســت و این روند برای ســطوح کود گوســفندی و گاوی مشهودتر است. چای و طباطبایی (Chae & Tabatabai, 1986) در مقایســه کود مرغی و ســایر کودهای آلی گزارش کردند که میزان نیترات در کود مرغی حدود ۱۰ برابر کودهای خوکی، اســبی، گاوی و حتی بقایای محصولات کشاورزی می‌باشد که این میزان می‌تواند در جذب نیتروژن بیشــتر توســط گیاه کمک کند و بالطبع این برتری نیتروژن در فاکتورهایی چون کلروفیل a که از مقدمات عملکرد و صفات رویشی می‌باشند خود را نمایان می‌کند.

عناصــر کم‌مصــرفی که در کودهای دامی هســتند، نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی دارند. آهن یک فاکتور بسیار مهم برای تعداد زیادی آنزیم است که چندین فرآیند بیوشیمیایی درون گیاهان را کاتالیز می‌کند. آهن نقشــی اســاســی در تشــکیل کلروفیل، ســنتز تایلاکوئید، توســعه کلروپلاســت و انتقال انرژی در گیاهان دارد (Nasiri & Najafi, 2015). همچنین روی و مس برای گیاهان ضروری است و نقش مهمی در متابولیسم، فتوسنتز و زنجیره حمل و نقل الکترونی تنفسی، سنتز کلروفیل و پروتئین، سنتز اکسین و تقسیم سلول به‌عنوان جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و به‌عنوان فاکتور تنظیم کننده در متابولیســـم ســـاکاریدها دارد (El-Sawi & Mohamed, 2002).

1 - Leaf Area Index
2 - Leaf Area
3- Ground surface

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمارهای کودی بر رنگدانه‌های فتوسنتزی گیاه آویشن طی دو چین

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) the effect of fertilizer treatments on photosynthetic pigments of thyme during two cuttings

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares			
		کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کارتنوئیدها Carotenoids
تکرار Replication	2	0.79^{ns}	0.36^{ns}	2.09^{ns}	0.06^{ns}
کود Fertilizer	10	3.59^{**}	0.40^{**}	5.49^{**}	0.62^{**}
خطای اصلی Error a	20	0.40	0.10	0.41	0.05
چین Cutting	1	1.64^{*}	2.52^{**}	8.21^{**}	2.69^{**}
کود × چین Cutting × fertilizer	10	1.05^{**}	0.50^{**}	2.08^{**}	0.26^{**}
چین × تکرار Replication × cutting	2	0.34	0.07	0.32	0.02
خطای آزمایش Error	20	0.30	0.12	0.39	0.06
ضریب تغییرات C.V (%)		7.9	13.5	6.5	12.0

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: are non-significant, significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کودی و چین بر رنگیزه‌های فتوسنتزی آویشن

Table 4– Mean comparisons of fertilizer and cutting interaction on photosynthetic pigments of thyme

چین Cutting	کود Fertilizer	کلروفیل a Chlorophyll a ($\mu g.ml^{-1}$)	کلروفیل b Chlorophyll b ($\mu g.ml^{-1}$)	کلروفیل کل Total chlorophyll ($\mu g.ml^{-1}$)	کارتنوئیدها Carotenoids ($\mu g.ml^{-1}$)
چین اول First cutting	PM_{100}	4.4	1.9	6.4	1.2
	PM_{143}	7.9	2.8	10.8	2.2
	PM_{250}	8.0	2.2	10.2	1.6
	SM_{100}	6.7	2.4	9.1	1.9
	SM_{143}	7.8	2.8	10.6	2.3
	SM_{250}	7.2	1.8	9.0	1.3
	CM_{100}	6.6	2.7	9.4	2.2
	CM_{143}	6.3	2.3	8.6	1.7
	CM_{250}	7.0	2.6	9.6	1.9
	CF	7.1	2.6	9.8	2.1
	Control	5.7	2.2	7.9	1.6
چین دوم Second cutting	PM_{100}	6.4	2.3	8.7	1.8
	PM_{143}	7.5	3.0	10.6	2.3
	PM_{250}	7.9	3.3	11.2	1.8
	SM_{100}	6.4	2.6	9.0	2.3
	SM_{143}	6.8	2.5	9.2	2.2
	SM_{250}	8.2	3.3	11.5	2.6
	CM_{100}	6.4	3.1	9.5	3.1
	CM_{143}	6.8	3.0	9.8	2.1
	CM_{250}	7.3	2.0	9.3	1.8
	CF	7.9	3.1	11.0	2.4
	Control	6.7	2.6	9.3	2.2
LSD (α= 0.05)		1.27	0.82	1.44	0.57

PM_{100}، PM_{143}، PM_{250}: به‌ترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250}: به‌ترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}: به‌ترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی، Control: بدون کود.

PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250}: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CF: Chemical fertilizer, Control: No fertilizer.

اثرات کود، چین و اثر متقابل کود در چین بر میزان کلروفیل b در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). بررسی میانگین کلروفیل b حاکی است که در چین اول پاسخ این رنگدانه به افزایش سطح کود مرغی و گوسفندی ابتدا افزایشی و سپس کاهشی است، امّا برای کود گاوی روند ابتدا کاهشی، ولی سپس افزایشی بود (جدول ۴). همچنین در چین دوم روند پاسخ کلروفیل b برای کود مرغی و گوسفندی افزایشی، ولی برای کود گاوی کاهشی بود.

از آن جا که نیتروژن در ساختار کلروفیل b نیز شرکت دارد، در نتیجه انتظار می‌رود که با فراهم شدن نیتروژن معدنی شده از منبع آلی و شیمیایی افزایش رنگدانه‌ها از جمله کلروفیل b در ساختار فتوسنتزی وجود داشته باشد، زیرا بررسی‌ها حاکی از آن است که تأمین این عنصر می‌تواند دلیل کلروفیل برگ باشد (Omrani et al., 2015). به نظر می‌رسد که رهاسازی نیتروژن کافی برای سنتز کلروفیل b در اولویت دوم باشد. بر همین اساس، در شرایط تغذیه با کود گاوی به‌دلیل کندی معدنی شدن (Alizadeh et al., 2012) سنتز کلروفیل a به‌میزان بیشتری تحت تأثیر کود مصرفی قرار گرفته است. همچنین چای و طباطبایی (Chae & Tabatabai, 1986) اعلام کردند که میزان آمونیوم در کود مرغی از همه انواع کودهای دامی به‌جز کود خوکی بیشتر است و میزان نیترات نیز از همه انواع کودها برتر است، لذا می‌توان افزایش کودهای مرغی را به‌دلیل وجود میزان بالای آمونیوم و نیترات در کود مرغی دانست.

با نگاهی به ویژگی‌های شیمیایی کودهای مورد مطالعه (جدول ۱) میزان آهن موجود در کود گوسفندی به‌میزان قابل توجهی از کودهای مرغی و گاوی بالاتر است که این مورد از دلایل برتری تیمارهای کود گوسفندی و به عبارتی، عامل اصلی رقابت تیمارهای کود گوسفندی با کود مرغی است.

اثرات اصلی کود و چین و همچنین اثر متقابل کود در چین بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل کل در چین دوم در تیمارهای SM_{250} و PM_{250}، CF و PM_{143} و در چین اول در تیمارهای PM_{143}، SM_{143} و PM_{250} گزارش شد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌دار نشان داده و در گروه آماری برتر قرار گرفتند (جدول ۴). در چین اول سطوح متعادل کود مرغی و گوسفندی کلروفیل کل بالایی را گزارش کردند، درحالی‌که میزان کلروفیل کل مطلوب در این دو تیمار در چین دوم در سطوح بالای مصرف کود گزارش شد. امّا در تیمارهای کود گاوی این روند در هر دو چین معنی‌دار نبود (جدول ۳).

سنتز اسانس‌ها به فعالیت فتوسنتز بستگی دارد. تأمین مواد مغذی فتوسنتزی و فرآیندهای متابولیکی همبستگی بالایی با تقسیم سلولی و طویل شدن سلول دارد (Hatwar et al., 2003). نقش مهم نیتروژن بر فعالیت آنزیم‌های فتوسنتزی و ساختار رنگدانه‌های فتوسنتز (Zhang & Li, 2003) موجب شده است که استفاده از سیستم کود آلی و شیمیایی افزایش کلروفیل را به دنبال داشته باشد، افزایش نیتروژن در گیاه سبب افزایش پروتوپلاسم و در نتیجه، افزایش اندازه سلول و سطح برگ شده و در نهایت، باعث افزایش فعالیت فتوسنتز می‌گردد (Arefi et al., 2012). پارک و همکاران (Park et al., 2019) نیز در تأثیر ترکیب ماده آلی کود بر رشد گیاه به این نتیجه رسیدند که کودهای آلی سبب افزایش معنی‌دار همه رنگیزه‌های فتوسنتزی می شود و این افزایش در کود مرغی بیشتر و معنی‌دارتر از کود گاوی بوده است. برنال و همکاران (Bernal et al., 2009) اعلام کردند که کودهای مرغی در مقایسه با کود گاوی از قدرت غنی سازی نیتروژن بیشتری برخوردارند و اعلام کردند از آن جا که نیتروژن اولین عنصر ضروری برای گیاه است کود مرغی محتوای بیشتری از این عنصر را دارد.

اثرات کود، چین و اثر متقابل کود در چین بر میزان کارتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۳). بیشترین میزان کارتنوئید در چین دوم و در تیمار CM_{100} با ۳/۱ میکروگرم بر میلی لیتر گزارش گردید. لازم به ذکر است در چین اول همه تیمارهای کودی به‌استثنای PM_{100}، PM_{250} و SM_{250} در سطح آماری یکسانی بودند. این در حالی است که در چین دوم تیمار CM_{100} با ۳/۱ میکروگرم در میلی‌لیتر بیشترین میزان کارتنوئید را گزارش نمود (جدول ۴). اصولا کارتنوئید در شرایط محدودیت کلروفیل نقش مهم دارد. بنابراین، همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود در تیمارهای PM_{100}، SM_{100} و CM_{100} مقدار کلروفیل a به‌نسبت کمتر است و احتمالاً به همین دلیل رنگدانه کارتنوئید در این تیمارها افزایش نسبی داشته است.

اثرات اصلی کود و چین و همچنین اثر متقابل کود در چین بر میزان شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. (جدول ۵) بیشترین میزان LAI در چین دوم و به‌ترتیب در تیمارهای

PM_{250}، SM_{250} و PM_{143} بـه میزان ۱/۴۹، ۱/۴۵ و ۱/۴۳ بـدون اختلاف معنی‌دار با هم نسبت به سایر تیمارها در گروه آماری برتر قرار گرفتند (جدول ۶). در هر دو چین با افزایش سطح کود مصرفی میزان شـاخص سـطح برگ ابتدا افزایش و سـپس ثابت باقی مانده اسـت به‌استثناء تیمار کود گو سفندی در چین دوم که سطوح بالای م صرف کود دامی در آن یا سـطح متعادل مصـرف کود معنی‌دار بود و درصـد افزایش بیشـتر بود. (جدول ۶). میزان شـاخص سـطح برگ کرت‌های دریافت‌کننده کود شیمیایی در چین اول کمتر از تیمارهای کود دامی با شاخص سطح برگ بالا بود (جدول ۶).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای کودی بر شاخص سطح برگ، زیست‌توده گیاهی و اسانس گیاه آویشن طی دو چین

Table 5- Analysis of variance for the effect of fertilizer treatments on leaf area index, arial biomass and essential oil of thyme during two cuttings

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares: شاخص سطح برگ Leaf area index	زیست‌توده گیاهی Aerial biomass	میزان اسانس Essential oil content	عملکرد اسانس Essential oil yield
تکرار Replication	2	0.01	1680.9	0.03	2.34
کود Fertilizer	10	0.44**	102473.6**	0.13**	103.44**
خطای اصلی Error a	20	0.04	7350.9	0.01	3.54
چین Cutting	1	4.50**	3636394.9**	3.49**	822.5**
کود × چین Cutting × fertilizer	10	0.05**	56598.7**	0.06**	35.47**
چین × تکرار Replication × cutting	2	0.00	1982.6	0.00	3.36
خطای آزمایش Error	20	0.01	3805.8	0.01	3.62
ضریب تغییرات C.V (%)		10.7	6.8	3.9	8.9

ns و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد.

ns and **: are non-significant and significant at 1% probability level, respectively.

شاخص سطح برگ در جذب تشعشات خورشیدی بسیار پراهمیت است که بالا بودن این شاخص در هر چه بهتر شدن رشد محصول و افزایش عملکرد مؤثر ا ست. نیتروژن موجود در انواع کودها در هر چه بهتر و بیشتر شدن این شاخص و افزایش ظرفیت فتوسنتزی از طریق بالا بردن دوام سطح برگ و تأخیر در پیری برگ‌ها می شود. بی شتر بودن شاخص سطح برگ دلالت بر تأمین عنا صر غذایی گیاه جهت د ستر سی به سطح برگ بالا، تولید بیشتر از طریق فتو سنتز بالاتر در این کودها دارد. کودهای دامی از طریق فراهمی عناصـــر غذایی به‌خصوص نیتروژن باعث افزایش رشد رویشی گیاه می‌شوند و بالطبع افزایش شاخص سطح برگ و تراکم بیشتر کانوپی را به دنبال دارد که سبب ا ستفاده بهینه از انرژی نورانی و در نتیجه، سنتز بی شتر مواد فتو سنتزی می شود (Rahimpour & Fallah, 2018). آن‌ها ن شان دادند که کود گاوی به‌دلیل ن سبت بالای کربن به نیتروژن و همچنین میزان فسفر کمتر اثرات کمتری بر رشد برگ‌ها در مقایسه با تیمارهای کود مرغی داشـــته اســـت. کودهای مرغی با تولید اســـیدهای آلی (Sanches Govin et al., 2005) و تأمین مناســـب اغلب عناصـــر غذایی به‌ویژه نیتروژن و فسفر (Ewulo, 2005) تعداد برگ‌ها و سطح برگ ریحان (Ocimum basilicum L.) را افزایش داد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار کودی و چین بر شاخص سطح برگ، زیست‌توده گیاهی و اسانس آویشن

Table 6- Mean comparisons of fertilizer and cutting interaction on leaf area index, aerial biomass, and essential oil of thyme

چین Cutting	کود Fertilizer	شاخص سطح برگ Leaf area index	زیست‌توده گیاهی Aerial biomass (kg.ha^{-1})	میزان اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (kg.ha^{-1})
چین اول First cutting	PM$_{100}$	0.6	564	2.26	12.7
	PM$_{143}$	0.8	656	2.74	18.0
	PM$_{250}$	1.0	997	2.79	27.7
	SM$_{100}$	0.6	633	2.55	16.2
	SM$_{143}$	1.1	1061	2.61	27.6
	SM$_{250}$	1.0	929	2.79	25.9
	CM$_{100}$	0.5	531	2.64	14.1
	CM$_{143}$	0.7	547	2.65	14.5
	CM$_{250}$	0.7	592	3.13	18.5
	CF	0.6	533	2.52	13.3
	Control	0.4	362	2.44	8.8
چین دوم Second cutting	PM$_{100}$	1.16	1143	2.21	25.3
	PM$_{143}$	1.43	1177	2.25	26.4
	PM$_{250}$	1.49	1203	2.40	28.9
	SM$_{100}$	1.11	1103	2.12	23.4
	SM$_{143}$	1.19	1153	2.23	25.7
	SM$_{250}$	1.45	1180	2.26	26.7
	CM$_{100}$	1.17	1116	2.09	23.4
	CM$_{143}$	1.16	1147	2.20	25.2
	CM$_{250}$	1.41	1163	2.25	26.1
	CF	1.34	1198	1.96	23.4
	Control	0.46	987	2.08	20.6
LSD (α= 0.05)		0.24	143.3	0.22	4.42

PM$_{100}$، PM$_{143}$، PM$_{250}$: به‌ترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM$_{100}$، SM$_{143}$، SM$_{250}$: به‌ترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM$_{100}$، CM$_{143}$، CM$_{250}$: به‌ترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی، Control: بدون کود.

PM$_{100}$, PM$_{143}$, PM$_{250}$: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg N.ha^{-1}, respectively; SM$_{100}$, SM$_{143}$, SM$_{250}$: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg N.ha^{-1}a, respectively; CM$_{100}$, CM$_{143}$, CM$_{250}$: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg N.ha^{-1}, respectively; CF: Chemical fertilizer, Control: No fertilizer.

اثرات کود، چین و اثر متقابل کود در چین بر زیست‌توده گیاهی آویشن دنایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵) . در چین اول روند ماده خشک تولیدی برای کودهای دامی متفاوت بود. به‌طوری‌که در کود مرغی با افزایش میزان کود مصرفی مقدار ماده خشک نیز افزایش یافت. برای کود گوسفندی نیز با افزایش کود مصرفی میزان ماده خشک گیاه ابتدا افزایش و سپس ثابت شد. میزان ماده خشک تولیدی در سطوح مختلف کود گاوی نیز تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). در چین دوم در همه تیمارها افزایش قابل توجهی نسبت به چین اول داشتند و به‌جز شاهد همه در یک گروه آماری قرار گرفتند. کمترین میزان زیست‌توده گیاهی در چین اول و در شاهد به‌میزان ۳۶۲ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (جدول ۶).

به نظر می‌رسد بالا بودن میزان نیتروژن، فسفر، روی، مس و منگنز در کود مرغی شرایط را برای سوخت و ساز بهتر این عناصر در گیاه و افزایش معنی‌دار صفات فراهم کرده است. علاوه‌بر نقش مهم نیتروژن، فسفر نیز به‌طور مستقیم پاسخ فتوسنتز را کنترل می‌کند و نقشی اساسی در تشکیل پیوندهای انرژی و غشای فسفولیپید دارد و یک جزء جدایی‌ناپذیر از واکنش‌های متابولیسم گیاه و مسیر انتقال سیگنال است (Pandey & Patra, 2015). میزان فسفر در کود مرغی سه برابر آن در کودهای گاوی و گوسفندی بود.

بررسی روند ماده خشک دو چین حاکی است که در چین اول ماهیت کودها نقش تعیین‌کننده دارد. به عبارتی، کودهایی که دارای مقدار بیشتری مواد آلی با خاصیت تجزیه سریع دارند، می‌توانند با سرعت بیشتری میزان نیتروژن و همچنین دیگر عناصر غذایی را در محیط ریزوسفر فراهم کنند (Fallah et al., 2020) و بنابراین، موجب رشد گیاه و در نتیجه، تجمع ماده خشک بیشتر شوند. زیرا به‌موازات افزایش نیتروژن در گیاه، میزان پروتوپلاسم افزایش یافته و در نتیجه، افزایش اندازه سلول و گسترش سلولی موجب افزایش رشد گیاه می‌گردد (Omrani et al., 2016). امّا در چین دوم توسعه ریشه گیاه و وجود زمان بیشتر موجب افزایش معدنی شدن کودهای دامی می‌گردد و به نظر می‌رسد که در کود گوسفندی و حتی کود گاوی

میزان آزادسازی عناصر غذایی همانند کود مرغی با تأمین نیازهای گیاه هماهنگی داشته است و از این رو ماده خشک چین دوم تیمارهای کودی اختلاف نداشته است.

ملو و همکاران (Melo et al., 2008) گزارش کردند که کودهای مرغی به‌خاطر میزان بالای آمونیوم معمولاً زیست‌توده بیشتری را نسبت به سایر کودهای دامی تولید می‌کنند. آن‌ها میزان زیاد آمونیوم و عناصر غذایی به‌خصوص نیتروژن را دلیل این برتری می‌دانند (Melo et al., 2008).

روزال و همکاران (Rosal et al., 2011) در مقاله خود اعلام کردند که کودهای مرغی پرورشی از لحاظ نیتروژن و فسفر بسیار غنی و از لحاظ سلولز و لیگنین فقیر هستند. Bibiano et al. (2019) نیز کودهای مرغی را در مقایسه با کودهای گاوی جهت حصول عملکرد بالا بهتر دانستند.

علاوه بر مزایای مستقیم کود دامی بر حاصلخیزی خاک، از مزایای جانبی آن‌ها می‌توان به تأثیر تعدیل اسیدیته خاک، افزایش مواد آلی و حمایت از باکتری‌های مفید خاک اشاره کرد (Tewolde et al., 2010; Ashworth et al., 2014; Ashworth et al., 2020) که این عوامل نیز می‌توانند در ایجاد رشد گیاه مؤثر باشند. کود دامی به‌خصوص کود مرغی نسبت به اعمال کودهای شیمیایی باعث افزایش صفات اندازه‌گیری شده از جمله ماده خشک اندام‌های هوایی، ماده خشک ساقه و برگ در گیاه سیب زمینی گردید (Djilani Ghemam & Senoussi, 2013).

نتایج تجزیه آنالیز واریانس نشان داد که میزان اسانس تحت تأثیر اثرات اصلی و متقابل کود و چین در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت. بیشترین میزان اسانس در چین اول و تیمار CM_{250} به‌میزان ۳/۱۳ درصد گزارش گردید (جدول ۶). همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است، در چین اول، مقدار اسانس با افزایش میزان کود مرغی ابتدا افزایش و سپس ثابت ماند، ولی در کود گاوی CM_{250} اسانس را به‌طور معنی‌داری در مقایسه با دو سطح دیگر این کود افزایش داد. سطوح مختلف کود گوسفندی در چین اول از لحاظ میزان اسانس اختلاف معنی‌داری نداشتند. همچنین در چین دوم اختلاف معنی‌داری بین سطوح هیچکدام از کودها مشاهده نشد. میزان اسانس هر تیمار در چین دوم در مقایسه با چین اول از لحاظ عددی کاهش یافت (جدول ۶).

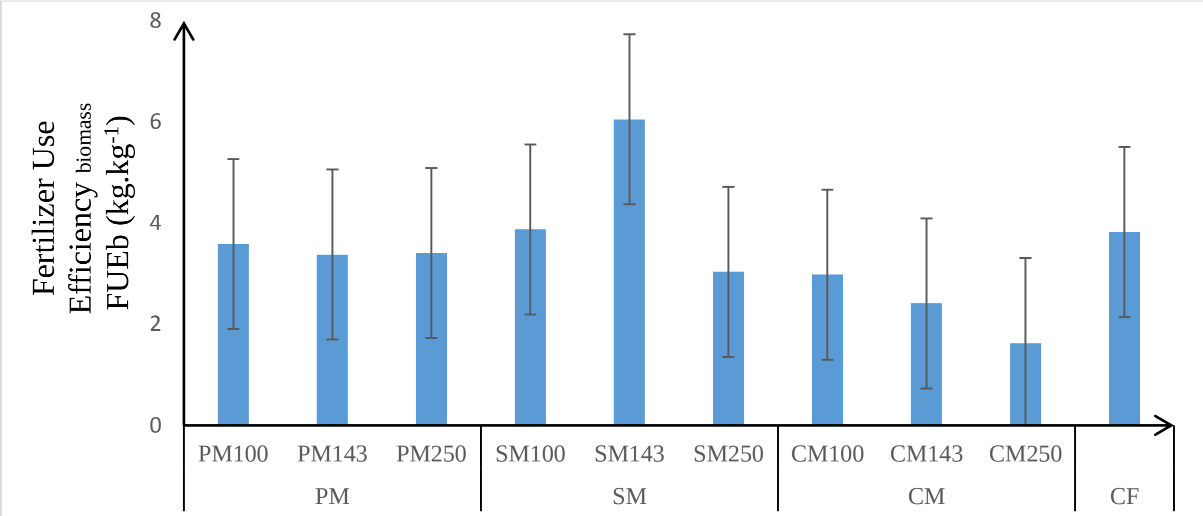
اثرات اصلی کود و چین و همچنین اثر متقابل کود در چین بر میزان عملکرد اسانس در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۵). عملکرد اسانس که از حاصل ضرب زیست‌توده گیاهی و درصد اسانس به‌دست آمد، طی هر دو چین اول با افزایش میزان مصرف کود دامی به‌استثنای کود گاوی در چین اول افزایش یافت (جدول ۶). در چین اول تیمارهای PM_{250}، SM_{143} و SM_{250} به‌ترتیب با ۲۷/۷، ۲۷/۶ و ۲۶ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد ثبت نمودند. در چین دوم نیز تیمارهای PM_{250} و SM_{250} به‌ترتیب با ۲۸/۹ و ۲۶/۷ کیلوگرم در هکتار دارای بیشترین تولید اسانس بودند. کمترین میزان عملکرد اسانس نیز در چین اول در شاهد با ۸/۸ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (جدول ۶).

بررسی روند میانگین‌ها نشان می‌دهد که در گیاه آویشن تولید ماده خشک در مقایسه با میزان اسانس نقش بیشتری در عمکرد اسانس دارد (جدول ۶)، زیرا تیمار CM_{250} اگرچه در هر دو چین از درصد اسانس بالایی برخوردار بود، ولی به‌دلیل ماده خشک کمتر دارای عملکرد اسانس بالایی نبود. از آن جا که نیتروژن نقشی کلیدی در تقسیم، رشد و نمو سلول‌هایی دارد که تجمع اسانس را به‌دلیل بهبود عملکرد زیست‌توده تحریک می‌کند (Pandey & Patra, 2015)، استفاده از سطوح بالای کود مرغی و گوسفندی به‌دلیل وجود اضافه نمودن مقادیر زیادی از عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر از سایر تیمارها پیشی گرفته است.

کندیل و همکاران (Kandeel et al., 2002) با مطالعه بر روی تأثیر کودهای آلی و غیر آلی و ترکیب آن‌ها بر عملکرد و ترکیبات اسانس ریحان نشان دادند که ترکیب کودهای آلی و غیرآلی باعث افزایش عملکرد اسانس (که عمدتاً توسط ترکیبات شبه ترپنوئید تشکیل شده است) در مقایسه با گیاهانی شد که فقط با نیتروژن غیرآلی تغذیه شده بودند. بنابراین، تعادل مواد مغذی در کودهای آلی فاکتور مهمی است که می‌تواند در رشد و نمو گیاه در مقایسه با کود شیمیایی تأثیر بگذارد. از طرف دیگر، افزایش زیست‌توده گیاهی را می‌توان به تأثیر کود آلی نسبت داد که باعث بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک می شود. یعنی افزایش مواد آلی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی، و ظرفیت نگهداری آب و در دسترس بودن مواد مغذی معدنی و به نوبه خود باعث افزایش زیست‌توده گیاهی گیاه می شود (Al-Fraihat et al., 2011; Samani et al., 2017) و این افزایش وزن خشک در بهبود عملکرد اسانس گیاه نقش مستقیمی دارد (Rostaei et al., 2018).

بررسی کارایی کودهای مختلف در شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد که در مجموع ترتیب کارایی کودها برای تولید زیست‌توده گیاه آویشن طی دو چین به صورت زیر بود: کود گوسفندی> کود شیمیایی> کود مرغی> کود گاوی. مقدار این کارایی برای کودهای کود گوسفندی، کود شیمیایی، کود مرغی و کود گاوی به‌ترتیب ۴/۳۲، ۳/۸۲ ، ۳/۴۶ و ۲/۳۴ کیلوگرم در کیلوگرم بود (شکل ۱). ترتیب کارایی کودهای در

تولید اســانس با کارایی کود در تولید زیســت‌توده متفاوت بود، به‌طوری‌که پس از کود گوســفندی، بیشــترین کارایی مربوط به کود مرغی بود، همچنین اختلاف کارایی کود گاوی در تولید اسانس با کود شیمیایی خیلی کم بود (شکل ۲).



شکل ۱- مقایسه میانگین کارایی مصرف کود در تولید زیست‌توده گیاه دارویی آویشن دنایی طی دو چین

Fig. 1- Means comparison of fertilizer efficiency in the biomass production of thyme during two cuttings

PM_{100}، PM_{143}، PM_{250}: به‌ترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250}: به‌ترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}: به‌ترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی. میله‌ها نشان‌دهنده مقدار LSD (α=0.05) هستند.

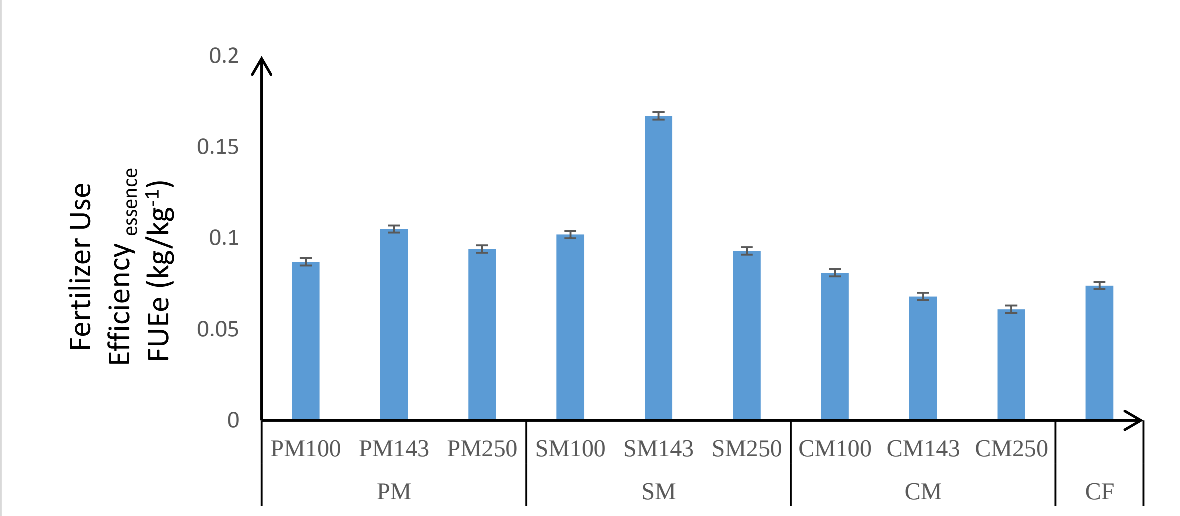
PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250}: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CF: Chemical fertilizer. Bars indicate the amount of LSD (α= 0.05).

مقایسه میانگین کارایی مصرف کود در تولید زیست‌توده هر یک از سطوح کودی طی دو چین بیانگر آن است که همه تیمارهای کودی به‌استثنای SM_{143} اختلاف معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). امّا از لحاظ تولید اسانس اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف تیمارهای کودی مشــاهده شــد (شــکل ۲). بیشــترین کارایی کود در تولید اســانس به SM_{143} اختصــاص داشــت و PM_{143} نیز در رتبه بعدی قرار گرفت. نکته قابل توجه این است که کارایی مصرف کود شیمیایی برای تولید اسانس نسبت به دیگر کودها کاهش قابل توجهی داشت، به‌طوری‌که کلیه ســطوح کود گوســفندی و کود مرغی و همچین CM_{100} برتری معنی‌داری در مقایسه با کود شیمیایی داشتند (شکل ۲). این نتیجه نشــان می‌دهد که کودهای دامی علاوه‌بر عناصــر پرمصــرف به‌دلیل عناصر کم‌مصرف و همچنین تولید هورمون‌های رشد بر تولید متابولیت ثانویه اثر مســتقیم دارند (Rostaei et al., 2018). از این رو، برای زراعت گیاهان دارویی و تولید اسانس مفید هستند.

به نظر می‌رسد در آزمایش آن‌ها پائین بودن میزان مصرف کود گاوی، علت کاهش کارایی این کود باشــد که قادر به تأمین عناصــر غذایی مورد نیاز طی دوره رشد گیاه نبوده است. برخی از محققین از دست رفتن بخشی از نیتروژن توسط آب شویی قبل از جذب ریشه هنگامی که گیاه قادر به مصرف عناصر اضافی نبوده است را از دلایل کاهش کارایی مصــرف نیتروژن دانســتند (Fallah & Tadayyon, 2010).

متعادل بودن توزیع ماده خشک بین اجزای گیاه (Andrade et al., 1999)، و یا تعادل بین نیاز گیاه و قابلیت دسترسی نیتروژن خاک (Subedi et al., 2006)، می‌تواند دلیل بالا بودن کارایی کود در تیمارهای SM_{143} و در اولویت بعدی PM_{143} باشــد. به‌طور کلی، در آزمایش حاضــر اختلاف کارایی کود بین تیمارهای مختلف از لحاظ تولید ماده خشک در مقایسه با تولید اسانس کمتر بود، این در حالی است که برخی از پژوهشگران بالا بودن کارایی جذب نیتروژن ذرت و پنبه در سطوح مختلف کود مرغی نسبت به کود اوره را به‌دلیل افزایش قابلیت دسترسی به نیتروژن در کود مرغی و کاهش امکان آب شویی آن اعلام نمودند (Adeli et al., 2005; Hirzel et al., 2007). ولی عده‌ای از پژوهشــگران کاهش کارایی جذب نیتروژن تیمار کود دامی نسبت به کود شیمیایی را گزارش کردند و علت آن را عدم هم‌زمانی آزادسازی نیتروژن با نیاز گیاه در تیمار کود دامی دانستند (Russo et

al., 2010).



شکل ۲- مقایسه میانگین کارایی مصرف کود در تولید اسانس گیاه دارویی آویشن دنایی طی دو چین

Fig. 2- Means comparison of fertilizer efficiency in the essential oil production of thyme during two cutting

PM_{100}، PM_{143}، PM_{250}: به‌ترتیب کود مرغی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ SM_{100}، SM_{143}، SM_{250}: به‌ترتیب کود گوسفندی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CM_{100}، CM_{143}، CM_{250}: به‌ترتیب کود گاوی براساس ۱۰۰، ۱۴۳ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار؛ CF: کود شیمیایی. میله‌ها نشاندهنده مقدار LSD (α=0.05) هستند.

PM_{100}, PM_{143}, PM_{250}: Application of poultry manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; SM_{100}, SM_{143}, SM_{250}: Application of sheep manure based on 100, 143, and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CM_{100}, CM_{143}, CM_{250}: Application of cattle manure based on 100, 143 and 250 kg $N.ha^{-1}$, respectively; CF: Chemical fertilizer. Bars indicate the amount of LSD (α= 0.05).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج مطالعه حاضر حاکی از آن بود که به‌کارگیری مقدار متعادل کود گوسفندی به‌دلیل برتری کارایی آن در مقایسه دیگر سطوح این کود و دیگر کودهای دامی و شیمیایی مورد مطالعه، اثربخشی بیشتری در اکوسیستم زراعی دارد، ولی چنانچه عملکرد اسانس گیاه آویشن مورد نظر تولیدکننده باشد، سطح بالای کود مرغی بر سطح متعادل کود گوسفندی اولویت دارد و به‌میزان ۱۳/۴ درصد اسانس بیشتری تولید می‌کند، هر چند کارایی این سطح از کود مرغی در مقایسه با سطح متعادل کود گوسفندی ۳۵ درصد کمتر است. بنابراین، برای رسیدن به جنبه‌های پایداری در اکوسیستم گیاهان دارویی علاوه‌بر تولید اسانس در نظر گرفتن کارایی مصرف کودها نیز ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از مساعدت مالی دانشگاه شهرکرد در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Abdollahi Arpanahi, A., and Feizian, M., 2019. Arbuscular mycorrhizae alleviate mild to moderate water stress and improve essential oil yield in thyme. Rhizosphere 9: 93-96. https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2018.10.003.

Abdollahi2020 Arpanahi, A., Feizian, M., Mehdipourian, G., and Namdar-Khojasteh, D., 2020. Arbuscular mycorrhizal fungi inoculation improve essential oil and physiological parameters and nutritional values of *Thymus daenensis* Celak and *Thymus vulgaris* L. under normal and drought stress conditions. European Journal of Soil Biology 100. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2020.103217

Adeli, A., Sistani, K.R., Rowe, D.E., and Tewolde, H., 2005. Effects of broiler litter on soybean production and soil nitrogen and phosphorus concentrations. Agronomy Journal 97: 314-321. https://doi.org/10.2134/agronj2005.0314

Ahn, J., Lee, S.A., Kim, J.M., Kim, M., Song, J., and Weon, H., 2016. Dynamics of bacterial communities in rice field soils as affected by different long-term fertilization practices. Journal of Microbiology 54: 724–731. DOI: 10.1007/s12275-016-6463-3

Al-Fraihat, A.H., Al-dalain, S.Y.A., Al-Rawashdeh, Z.B., AbuDarwish, M.S., and Al-Tabbal, J.A., 2011. Effect of organic and bio fertilizers on growth, herb yield and volatile oil of marjoram plant grown in Ajloun region, Jordan. Journal of Medicinal Plants Research 5(13): 2822–2833. https://doi.org/10.5897/JMPR.9000490

Alizadeh, P., Fallah, S., and Raiesi, F., 2012. Potential N mineralization and availability to irrigated maize in a calcareous soil amended with organic manures and urea under field conditions. International Journal of Plant Production 6(4): 493-512. Doi: 10.22069/ijpp.2012.762.

Amran, K.A.A., 2013. Physiological studies on *Pelargonium graveolens* L plant. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture. Moshtohor. Benha. University. Egypt. 115 p.

Andrade, F.H., Vega, C., Uhart, S., Cirilo, A., Cantarero, M., and Valentinuz, O., 1999. Kernel number determination in maize. Crop Science 39: 453-459.

Arefi, I., Kafi, M., Khazaei, H.R., and Banayan Aval, M., 2012. Effect of nitrogen phosphorous and potassium fertilizer levels on yield, photosynthetic rate photosynthetic pigments, chlorophyll content, and nitrogen concentration of plant components of *Allium altissimum* Regel. Journal of Agroecology. 4(3): 207-214. Doi: 10.22067/jag.v4i3.15309 (In Persian with English Summary)

Asbaghian, S., Shafaghat, A., Zarea, K., Kasimov, F., and Salimi, F., 2011. Comparison of volatile constituents, and antioxidant and antibacterial activities of the essential oils of *Thymus caucasicus*, *T. kotschyanus* and *T. vulgaris*. Natural Product Communications. 6(1): 137–140. https://doi.org/10.1177/1934578X1100600133.

Ashworth, A.J., Allen, F., Wight, J., Saxton, A., and Tyler, D., 2014. Soil organic carbon sequestration rates under crop sequence diversity, biocovers, and no-tillage. Soil Science Society of America Journal 78: 1726–1733. https://doi.org/10.2136/sssaj2013.09.0422.

Ashworth, A., Pote, D., Way, T.R., and Watts, D.B., 2020. Effect of seeding distance from subsurface poultry litter on corn yield and leaf greenness. Agronomy Journal 112. https://doi.org/10.1002/agj2.20186.

Begrow, F., Engelbertz, J., Feistel, B., Lehnfeld, R., Bauer, K., and Verspohl, E.J., 2010. Impact of thymol in thyme extracts on their antispasmodic action and ciliary clearance. Planta Medica 76(04): 311-318. DOI: 10.1055/s-0029-1186179.

Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., and Moral, R., 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresource Technology. 100(22): 5444–5453. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027.

Bibiano, C., Carvalho, A., Bertolucci, S.K., Torres, S., Corrêa, R., and Pinto, J., 2019. Organic manure sources play fundamental roles in growth and quali-quantitative production of essential oil from *Dysphania ambrosioides* L. Industrial Crops and Products 139: 111512. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111512.

Börjesson, G., Menichetti, L., Kirchmann, H., and Kätterer, T., 2012. Soil microbial community structure affected by 53 years of nitrogen fertilisation and different organic amendments. Biology and Fertility of Soils 48: 245–257. DOI:10.1007/s00374-011-0623-8.

Budka, D., and Khan, N.A., 2010. The effect of *Ocimum basilicum*, *Thymus vulgaris*, *Origanum vulgare* essential oils on *Bacillus cereusin* rice-based foods. European Journal of Botany 2(1): 17–20.

Büechi, S., Vögelin, R., Von Eiff, M.M., Ramos, M., and Melzer, J., 2005. Open trial to assess aspects of safety and efficacy of a combined herbal cough syrup with ivy and thyme. Complementary Medicine Research 12(6): 328-332. DOI: 10.1159/000088934.

Cetin, B., Cakmakci, S., and Cakmakci, R., 2011. The investigation of antimicrobial activity of thyme and oregano essential oils. Turkish Journal of Agriculture and Forestry 35: 145-154. DOI: 10.3906/tar-0906-162.

Chae, Y.M., and Tabatabai, M.A., 1986. Mineralization of nitrogen in soils amended with organic wastes. Journal of Environmental Quality 15(2): 193– 198. https://doi.org/10.2134/jeq1986.00472425001500020021x

Dinesh, R., Srinivasan, V., Hamja, S., and Mahjusha, A., 2010. Short term incorporation of organic manures and fertilizers influences biochemicals and microbial characteristics of soils under an annual crop turmeric. Bioresource Technology Journal 101(12): 4697-702. doi: 10.1016/j.biortech.2010.01.108.

Djilani Ghemam, A., and Senoussi, M.M., 2013. Influence of organic manure on the vegetative growth and tuber production of potato (*Solanum tuberosum* L. varspunta) in a Sahara desert region. International Journal of Agriculture and Crop Sciences 5: 2724-2731.

El-Sawi, S.A., and Mohamed, M., 2002. Cumin herb as a new source of essential oils and its response to foliar spray with some microelements. Food Chemistry 77: 75–80. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.108.

Ewulo, B., 2005. Effect of poultry dung and cattle manure on chemical properties of clay and sandy clay loam soil. Journal

of Animal and Veterinary Advances 4(10): 829-841. https://medwelljournals.com/abstract/?doi=javaa.2005.839.841.

Fallah, S., 2016. Fundamental of Sustainable Agriculture. Shahrekord University Press, Shahrekord, Iran. 169 pp. (In Persian)

Fallah, S., and Tadayyon, A., 2010. Uptake and nitrogen efficiency in forage maize: effects of nitrogen and plant density. Agrociencia 44: 549-560.

Fallah, S., Ghalavand, A., Samar, S.M., and Yadavi, A., 2013. Effect of broiler litter and mixing it with soil on corn`s nutrient concentrations. Journal of Agronomy 24: 40-47.

Fallah, S., Mouguee, S., Rostaei, M., Adavi, Z., and Lorigooini, Z., 2020. Chemical compositions and antioxidant activity of essential oil of wild and cultivated *Dracocephalum kotschyi* grown in different ecosystems: A comparative study. Industrial Crops and Products 143: 111885. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111885.

Forge, T.A., Hogue, E.J., Neilsen, G., and Neilsen, D., 2008. Organic mulches alter nematode communities, root growth and fluxes of phosphorus in the root zone of apple. Applied Soil Ecology 39: 15–22. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.11.004.

Francioli, D., Schulz, E., Lentendu, G., Wubet, T., Buscot, F., and Reitz, T., 2016. Mineral vs. organic amendments: microbial community structure, activity and abundance of agriculturally relevant microbes are driven by long-term fertilization strategies. Frontiers in Microbiology 14: 1446. doi: 10.3389/fmicb.2016.01446.

Geisseler, D., and Scow, K.M., 2014. Long-term effects of mineral fertilizers on soil microorganisms-A review. Soil Biology and Biochemistry 75: 54–63. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.03.023.

Ghasemi Pirbalouti, A., Karimi, A., Yousefi, M., Enteshari, E., and Golparvar, A.R., 2011. Diversity of *Thymus daenensis* Celak in central and west of Iran. Journal of Medicinal Plants Research 5(4): 319–323. https://doi.org/10.5897/jmpr.9000456.

Ghasemi Pirbalouti, A., Barani, M., Hamedi, B., Ataei Kachouei, M, and Karimi, A., 2013. Environment effect on diversity in quality and quantity of essential oil of different wild populations of Kerman thyme. Genetika Journal 45: 441450. DOI:10.2298/GENSR1302441P.

Haraguchi, H., Saito, T., Ishikawa, H., Date, H., Kataoka, S., Tamura, Y., and Mizutani, K., 1996. Antiperoxidative components in *Thymus vulgaris*. Planta Medica 62: 217–221. DOI:10.1055/S-2006-957863

Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Maeder, P., and Widmer, F., 2015. Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. Multidisciplinary Journal of Microbial Ecology 9: 1177–1194. DOI:10.1038/ismej.2014.210.

Hatwar, G.P., Gondane, S.U., Urkude, S.M, and Gahukar, O.V., 2003. Effect of micronutrients on growth and yield of chili. Journa of Soils and Crops 13: 123–125.

Hirzel, J., Walter, I., Undurraga, I., and Cartagena, M., 2007. Residual effects of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) growth and soil properties derived from volcanic ash. Soil Science and Plant Nutrition 53: 480-488. https://doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00144.x.

Kandeel, A.M., Naglaa, S.A.T., and Sadek, A.A., 2002. Effect of biofertilizers on the growth, volatile oil yield and chemical composition of *Ocimum basilicum* L. plant. Annual Agricultural Science Cairo 47(1): 351-371.

KeshavarzAfshar, R., Chaichi, M.R., Assareh, M.H., Hashemi, M., and Liaghat, A., 2014. Interactive effect of deficit irrigation and soil organic amendments on seed yield and flavonolignan production of milk thistle (*Silybum marianum* L. Gaertn.). Industrial Crops and Products 58: 166–172. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.03.043.

Kilande, B.G., Tenywa, J.S., Rwakaikara-Silver, M., and AmodingKatushabe, A., 2011. Agronomic evaluation of cattle manures for cabbage production: Animal gender and physiological conditions. Nepalese Journal of Agricultural Sciences 9: 76-89.

Lichtenthaler, H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. In: R. Douce, and L. Packer, (Eds.), Methods Enzymol. Academic Press Inc., New York 148: 350-382.

Maghdi, B.H., and Maki, Z.M., 2003. Review of common Thyme. Journal of Medicinal Plants Research 2(7): 1-12.

Melo, L.C.A., Silva, C.A., and Dias, B.D.O., 2008. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de Origens diversificadas. Revista Brasileira de Ciência do Solo 32: 101–110. https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000100010.

Nabavi, S.M., Marchese, A., Izadi, M., Curti, V., Daglia, M., and Nabavi, S.F., 2015. Plants belonging to the genus Thymus as antibacterial agents: from farm to pharmacy. Food Chemistry 173: 339–347. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.10.042

Naguib, N.Y.M., 2011. Organic *vs*. chemical fertilization of medicinal plants: A concise review of researches. Advances in Environmental Biology Journal 5(2): 394-400.

Nasiri, Y., and Najafi, N., 2015. Effects of soil and foliar applications of iron and zinc on flowering and essential oil of chamomile at greenhouse conditions. Acta Agriculturae Slovenica 105(1): 33–41. DOI:10.14720/aas.2015.105.1.04.

Nathalie, J., and Bréda, J., 2003. Ground- based measurements of leaf area index: A review of methods, instruments and current controversies. Journal of Experimental Botany 54: 392: 2403–2417. https://doi.org/10.1093/jxb/erg263.

Neisani, S., Fallah, S., and Raiesi, F., 2011. The response of N and P efficiency in forage maize to different urea and broiler litter levels under short-term drought stress conditions. Journal of Agroecology 3: 525-534. Doi: 10.22067/jag.v3i4.14910. (In Persian with English Summary)

Nezhadali, A., Akbarpour, M., Zarrabi, B., and Mousavi, M., 2010. Comparison of volatile organic compounds of *Thymus vulgaris* using hydrodistillation and headspace solid phase microextraction gas chromatography mass spectrometry. Journal of the Chinese Chemical Society 57: 40-43. https://doi.org/10.1002/jccs.201000007.

Omrani, B., Fallah, S., and Taddayon, M.R., 2016. The response of photosynthetic pigments and dry matter partitioning and nitrate content in purslane (*Portulaca oleracea*) to plant nutrition. Journal of Plant Process and Function 5(15):181-194. DOI:20.1001.1.23222727.1395.5.15.13.6 . (In Persian with English Summary)

Pandey, V., and Patra, D., 2015. Crop productivity, aroma profile and antioxidant activity in *Pelargonium graveolens* L. Her. under integrated supply of various organic and chemical fertilizers. Industrial Crops and Products 67: 257–263. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.01.042.

Park, J., Cho, K.H., Ligaray, M., and Choi, M.J., 2019. Organic matter composition of manure and its potential impact on plant growth. Sustainability 11: 2346. https://doi.org/10.3390/su11082346.

Rahimpour, M., and Fallah, S., 2018. Effect of organic and chemical fertilizers on growth and yield of green basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 10(1): 146-159. DOI:10.22067/jsw.v31i6.66296. (In Persian with English Summary)

Rosal, L.F., Pinto, J.E.B.P., Bertolucci, S.K.V., Brant, R.D.S., Niculau, E.D.S., and Alves, P.B., 2011. Produção vegetal e de óleo essencial de boldo pequeno em função de fontes de adubos orgânicos. Revista Ceres Journal 58: 670–678. Doi: 10.1590/S0034-737X2011000500020.

Rostaei, M., Fallah, S., Lorigooini, Z., and Surki, A., 2018. Crop productivity and chemical compositions of black cumin essential oil in sole crop and intercropped with soybean under contrasting fertilization. Industrial Crops and Products 125: 622-629. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.09.044.

Roy, D.K., and Singh, B.P., 2006. Effect of level and time of nitrogen application with and without vermicompost on yield, yield attributes and quality of malt barley (*Hordeum vulgare*). Indian Journal of Agronomy 51: 40-42.

Roy, S.S., and Hore, J.K., 2010. Vermiculture can be practiced in all plantation crops. A report of Department of Spices and Plantation Crops, Faculty of Horticulture, Bidhan Chandra Krishi Viswavidyalaya. Nadia. West Bengal. pp. 20-39.

Russo, M.A., Belligno, A., Wu, J.Y., and Sadro, V., 2010. Comparing mineral and organic nitrogen fertlizer impact on soil–plant–water system in a succession of three crops. Recent Research in Science and Technology 2: 14-22.

Sacchetti, G., Maietti, S., Muzzoli, M., Scaglianti, M., Manfredini, S., Radice, M., and Bruni, R., 2005. Comparative evaluation of 11 essential oils of different origin as functional antioxidants, antiradicals and antimicrobials in foods. Food Chemistry 91(4): 621-632. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.031.

Safaei-Ghomi, J., Ebrahimabadi, A.H., Djafari-Bidgoli, Z., and Batooli, H., 2009. GC/MS analysis and *in vitro* antioxidant activity of essential oil and methanol extracts of *Thymus caramanicus* Jalas and its main constituent carvacrol. Food Chemistry 115(4): 152–154. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.01.051.

Samani, J.D., Pirbalouti, A.G., and Malekpoor, F., 2017. Effect of organic and chemical fertilizers on growth parameters and essential oil of Iranian basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Crop Nutrition Science 3: 14-24

Sanches Govin, E., Rodrigues Gonzales, H., Carballo Guerra, C., and Milanes Figueredo, M., 2005. Influencia de los abonos organicosy biofertilizantes en la calidad de las especies medicinales *Calendula officinalis* L. y *Mateicaria recutita* L. Revista Cubana de Plantas Medicinales 10: 1-8.

Sawan, Z.M., Hafez, S.A. and Basyony, A.E., 2001. Effect of phosphorus fertilization and foliar application of chelated zinc and calcium on seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. Journal of Agricultural Science 136: 191-198. DOI: https://doi.org/10.1017/S0021859601008644.

Schoenau, J.J., 2006. Benefits of long-term application of manure. Advances in Pork Production 17: 153-158.

Shahnazi, S., Khalighi Sigaroudi, F., Ajani, Y., Yazdani, D., Ahvazi, M., and Taghizad Shaalan, M.N., 2007. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Research 83: 811–828.

Sharafzadeh, S., and Ordookhani, K., 2011. Organic and bio fertilizers as a good substitute for inorganic fertilizers in medicinal plants farming. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 5(12): 1330-1333.

Sharafzadeh, S., Zare, M., 2011. Effect of drought stress on qualitative and quantitative characteristics of some medicinal plants from Lamiaceae family. Advances in Environmental Biology Journal 5(8): 2058–2062.

Subedi, K.D., Ma, B.L., and Smith, D.L., 2006. Response of a leafy and non-leafy maize hybrid to population densities and fertilizer nitrogen levels. Crop Science 46: 1860-1869. https://doi.org/10.2135/cropsci2005.06-0141.

Tabrizi, L., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., and Bannayan, M., 2011. Effect of irrigation and organic manure on Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov). Archives of Agronomy and Soil Science 57: 317-326. https://doi.org/10.1080/03650340903369376.

Tang, H., Xiao, X., Li, C., Pan, X., Cheng, K., Shi, L., Wang, K., and Li, W., 2020. Organic manure managements increases soil microbial community structure and diversity in double-cropping paddy field of Southern China. Scientific reports 10: 13540. https://doi.org/10.1080/00103624.2021.1879120.

Tewolde, H., Adeli, A., Sistani, K.R., Rowe, D.E., and Johnson, J.R., 2010. Equivalency of broiler litter to ammonium nitrate as a cotton fertilizer in an upland soil. Agronomy Journal 102: 251–257. https://doi.org/10.2134/agronj2009.0244.

Treonis, A.M., Austin, E.E., Buyer, J.S., Maul, J.E., Spicer, L., and Zasada, I.A., 2010. Effects of organic amendment and tillage on soil micro organisms and microfauna. Applied Soil Ecology 46: 103–110. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2010.06.017.

Trivedi, P., Delgado-Baquerizo, M., Jeffries, T.C., Trivedi, C., Anderson, I.C., Lai, K., McNee, M., Flower, K., Pal Singh, B., Minkey, D., and Singh, B.K., 2017. Soil aggregation and associated microbial communities modify the impact of agricultural management on carbon content. Environmental Microbiology 19: 3070-3086. DOI: 10.1111/1462-2920.13779.

Verpoorte, R., 2000. Pharmacognosy in the new millennium: Leadfinding and biotechnology. Journal of Pharmacy and Pharmacology 52: 253-262. https://doi.org/10.1211/0022357001773931.

Wang, Y., Li, C.Y., Tu, C., Hoyt, G.D., DeForest, J.L., and Hu, S.J., 2017. Long-term no-tillage and organic input management enhanced the diversity and stability of soil microbial community. Science of the Total Environment 609: 341–347. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.053 .

Wiedenhoeft, A.C., 2006. Plant Nutrition. Chelsea House Publishers, US. 144.

Yadav, J.S.P., 2003. Managing soil health for sustained high productivity. Journal of the Indian Society of Soil Science 51(4): 448-465.

Yarnell, D., 2007. *Thymus vulgaris* L. (thyme), Lamiaceae and related species. www.aarons world.com, accessed 21 Dec. 2012.

Ye, S., Liu, T., and Niu, Y., 2020. Effects of organic fertilizer on water use, photosynthetic characteristics, and fruit quality of pear jujube in northern Shaanxi. Open Chemistry 18(1): 537-545. https://doi.org/10.1515/chem-2020-0060.

Zhang, F., and Li, L., 2003. Using competitive and facilitative interaction in intercropping systems enhances crops productivity and nutrient use efficiency. Plant and Soil 248: 305-312. DOI:10.1023/A:1022352229863.

Zheljazkov, V.D., and Warman, P.R., 2004. Source separated municipal solid waste compost application to Swiss chard and basil. Journal of Environmental Quality 33: 542-552. DOI: 10.2134/jeq2004.5420

Zhong, W., Gu, T., Wang, W., Zhang, B., Lin, X., Huang, Q., and Shen, W., 2010. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. Plant and Soil 326: 511–522. DOI 10.1007/s11104-009-9988-y.

Zhu, X.C., Sun, L.Y., Song, F.B., Liu, S.Q., Liu, F.L., and Li, X.N., 2018. Soil microbial community and activity are affected by integrated agricultural practices in China. European Journal of Soil Science 69: 924–935. https://doi.org/10.1111/ejss.12679.